



TITLE:

Full waveform inversion of supershot-gathered data for optimization of turnaround time in seismic reflection survey(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Ehsan, Jamali Hondori

CITATION:

Ehsan, Jamali Hondori. Full waveform inversion of supershot-gathered data for optimization of turnaround time in seismic reflection survey. 京都大学, 2016, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2016-11-24

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k20061>

RIGHT:

| | | | |
|---|--|----|----------------------|
| 京都大学 | 博士（工学） | 氏名 | Ehsan Jamali Hondori |
| 論文題目 | Full waveform inversion of supershot-gathered data for optimization of turnaround time in seismic reflection survey（地震反射法探査における複数震源同時発震によるデータ取得及び処理時間最適化の研究） | | |
| <p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、人工地震利用により地震学的に地下構造を推定するため、複数震源を同時に発震する方法及び全波形インバージョン手法を適用する方法を、効率的に組み合わせ、高精度地震波反射断面を得る地震探査手法を提案する論文であり、全5章から構成される。</p> <p>第1章は緒論である。先ず本章で、地下構造を推定する反射法地震探査手法の適用に極めて膨大な人的かつ時間的コストが必要であること、このコスト高の原因が調査測線上に多数配置されている人工地震源位置での発震を一点一点順番に実施するためであること、また発震点位置毎に最適な地震計配置を行うこと、という現状の指摘を行っている。また、反射法探査記録のデータ解析に際し、現状で最も有効なデータ解析が全波形インバージョン手法であることをを指摘し、調査を最適化するには、複数の発震点での同時発震を行い、全波形インバージョンによりデータ解析を行うべきであるとする意見を述べている。ただし、全波形インバージョンの適用には初期値構造として速度モデルが必要である。従って、複数震源同時発震による調査は、未調査の地下構造ではなく、既調査地に絞ることが必要であることを指摘している。しかしながら全波形インバージョン手法は高精度探査に必要な不可欠な手段となっており、未調査地下構造に対しては通常の方法、既調査地には複数震源同時発震によるデータ取得、そしてどちらの場合も全波形インバージョンの適用することを提案している。この提案手法の実現には、複数震源から射出される地震波の重ね合わせに起因する部分的信号雑音比低下の回復方法、全波形インバージョン手法の適用で問題になる低周波成分の扱いが鍵となることを述べ、本論文の各章の構成が論理的に結論に至る道筋であることを示している。</p> <p>第2章では、複数震源における発震の問題を取り上げ、全波形インバージョンを適用する際に、複数震源をどのように組み合わせるのが最適化を議論している。震源の組み合わせ方法として、①全発震点を部分的に近接した複数震源の組に分け、複数の組の各組を1組単位で同時発震する方法、②全発震点からランダムに選択した複数震源を1組とし、複数の組の各組を1組単位で同時発震する方法、③全点を同時発震する方法、の3種類とし、それぞれの方法で得られるであろう反射記録を数値シミュレーション手法により理論的に作成し、全波形インバージョン手法で結果を導き、結果を比較する実践的手法を作用している。この結果、各組における同時発震において、各発震点の位相にランダムな定数を付加することにより信号雑音比の低下を抑制できること、上述①の同時発震手法が最も質の高い結果を導くことを議論している。数値シミュレーションでは、225ある発震点を25組の同時発震組に分け、ランダム雑音を付加することにより実データに近い品質の原データを作成した後、全波形インバージョン手法を適用している。この結果、同時発震手法によりデータ取得時間を1/9に圧縮できることを示している。</p> <p>第3章では、全波形インバージョン手法の詳細な議論が始まる。全波形インバージョン手法は非線形インバージョン手法であり、極めて初期値依存性が高い。適用時には、</p> | | | |

| | | | |
|--|--------|----|----------------------|
| 京都大学 | 博士（工学） | 氏名 | Ehsan Jamali Hondori |
| <p>調査対象空間の低周波数・低波数領域の制御が、モデル空間の極小解ではない最小解に至るため、極めて重要な役割を果たしている。この低波数領域の制御を可能とするため、反射記録から先ず深度方向に地震波反射面を抽出し、その反射面の水平方向の連続性を調査し、初期値設定用の地震波反射面の空間分布を推定する必要がある。本章では、その第一段階となる地震波反射面の抽出について議論している。既知の基本波形と地震波形のたたみ込みモデルを仮定し、最適化問題として適応焼きなまし法を適用し、安定した地震波反射面位置を得ている。既存の最小エントロピー・デコンボリューション法との比較では、提案されている適応焼きなまし法による推定の優位性が示されている。</p> <p>第4章では、全波形インバージョン手法を適用するための初期モデル構築の議論が行なわれている。一般に人工地震で得られる狭い周波数域での信号は、この周波数域に含まれない信号がなければ、安定したインバージョン結果を得ることができない。この傾向は、特に周波数域の低周波側の信号に強く影響し、インバージョン処理で局所解に陥る結果につながる。この問題に対処するため、第3章で得られた地震波反射面の情報を水平方向に連続させる処理を行った後、その水平連続性を用いて、既知の地震波速度情報を空間的に内挿することを、本章で提案している。既知の地震波速度情報として、探査対象地域に掘削された坑井で得られた検層結果や、地震波反射法の解析フローで得られる重合速度解析の結果を用いることができる。空間的に内挿された地震波反射面の情報は、反射法地震探査調査が実施される段階では得られない空間的な低波数成分を補うこととなり、安定した全波形インバージョン手法を適用できることを導いている。</p> <p>第5章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。</p> | | | |

(論文審査の結果の要旨)

地球内部構造の解明による安全安心な社会の実現，地下のエネルギー資源や金属鉱物資源の有効利用による持続性のある発展的社会的構築にとり，地下構造を推定することは必要不可欠な手段として認識される。地震波を用いた地下構造探査では，全波形を用いた解析手法の発展により，従前に比較し，極めて高解像度で地下の速度構造を推定できるようになってきている。しかしながら，石油や天然ガスなどを対象とし，地震波の反射波を用いる探査手法を適用する場合，データ取得から地下構造推定結果までに要するターンアラウンドタイムは数カ月から 1 年と長期にわたり，極めて高価である。特に全波形を用いる解析手法の導入は更にターンアラウンドタイムを増加させることとなる。本論文は，数値モデルを用いた理論的アプローチから，ターンアラウンドタイムを縮小することを目的として，全波形を用いる解析手法を含む新たな反射法地震探査データ処理手法を提案する研究である。本研究の遂行により得られた主な成果は次のとおりとなる。

1. 速度モデルの構築されている地下構造に対する調査では，複数の震源の同時発震によりデータを取得することにより，データ取得に必要な時間を数分の 1 に圧縮することが可能である。
2. 取得された波形の時間変化に加え，隣り合うセンサ間での最小二乗法的な波形空間相関性解析により，高解像度での地層構造を推定可能である。
3. 全波形解析を可能とするには，既存の震源およびセンサでのデータ取得に，低周波の信号を加える必要がある。この低周波での応答に，上述 2 の解析結果，検層データ，重合速度解析など既存の技術を駆使したデータを利用可能である。

本論文では，提案手法を，業界で標準的に用いられている複雑地層モデルに適用した。その結果，これまで処理の困難であった複数震源同時発震による反射法地震探査データを，全波形解析法を用いながら処理し，地下構造の推定まで至ることに成功している。この新手法適用で，今後の反射法地震探査データの解析を高度化することが可能であり，学術の発展および将来の反射法地震探査に寄与するところが少なくない。よって，本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また，平成 28 年 8 月 25 日，論文内容とそれに関連した事項について試問を行って，申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し，合格と認めた。